

Rec'd PCT/PTO 14 JAN 2005

PCT/JP03/09175 #2

18.07.03

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 05 SEP 2003

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 9 月 6 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 6 1 2 8 3
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 2 6 1 2 8 3]

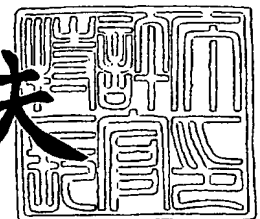
出 願 人 株 式 会 社 フ ジ ク ラ
Applicant(s):

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 3 年 8 月 2 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 20020584

【提出日】 平成14年 9月 6日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01M 11/02

【発明の名称】 光ファイバの偏波モード分散の測定方法

【請求項の数】 11

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 谷川 庄二

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 佐川 智春

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 池田 真拳

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 松尾 昌一郎

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 姫野 邦治

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 原田 光一

【特許出願人】

【識別番号】 000005186

【氏名又は名称】 株式会社フジクラ

【代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】 100108578

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆

【選任した代理人】

【識別番号】 100101465

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 正和

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-211387

【出願日】 平成14年 7月19日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704943

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバの偏波モード分散の測定方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 パルス光発生手段と、

該パルス光発生手段により発生されたパルス光を被測定光ファイバの一端に入射させるとともに、該被測定光ファイバの一端に戻ってきた後方散乱光を出射する光周回手段と、

該光周回手段から出射された後方散乱光の光強度をパルス光発生からの時系列として検出する光検出手段と、

該光検出手段の出力に基づいて、光ファイバの偏波モード分散を解析する解析手段と、

被測定光ファイバへの入力光と被測定光ファイバからの出力光とを同方向の単一直線偏波とする少なくとも 1 個の偏光分離手段と、
を具備する測定装置を用いることを特徴とする光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【請求項 2】 前記偏光分離手段が、前記光周回手段と被測定光ファイバとの間に 1 個設けられていることを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【請求項 3】 前記偏光分離手段が、偏波合分波型カプラであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【請求項 4】 汎用 O T D R 装置と、被測定光ファイバへの入力光と被測定光ファイバからの出力光とを同方向の単一直線偏波とする偏光分離手段とを具備する測定装置を用いることを特徴とする光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【請求項 5】 さらに、前記汎用 O T D R 装置と前記偏光分離手段との間に、光増幅手段を備えることを特徴とする請求項 4 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【請求項 6】 単一直線偏波としたパルス光を被測定光ファイバに入力し、この入力パルス光による後方散乱光から、前記入力パルス光と同方向の単一直線

偏波を分離したのち、その光強度をパルス光発生からの時系列データとして検出し、この時系列データにおける光強度のばらつきを算出し、この算出値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価することを特徴とする光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【請求項 7】 被測定光ファイバの一端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第 1 の光強度のばらつきを算出し、

前記被測定光ファイバの他端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第 2 の光強度のばらつきを算出し、

前記第 1 の光強度のばらつきと前記第 2 の光強度のばらつきとの平均値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価することを特徴とする請求項 6 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【請求項 8】 被測定光ファイバの所定の区間について測定された前記光強度のばらつきを、偏波モード分散が既知の光ファイバについて同様の方法により測定された光強度のばらつきと比較することにより、前記被測定光ファイバの所定の区間の偏波モード分散を評価することを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【請求項 9】 前記光強度のばらつきは、最小二乗法による回帰残差のばらつきとして算出することを特徴とする請求項 6 ないし 8 のいずれかに記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【請求項 10】 前記光強度のばらつきの尺度が、標準偏差であることを特徴とする請求項 6 ないし 9 のいずれかに記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【請求項 11】 前記光強度のばらつきの尺度が、最大値と最小値との差であることを特徴とする請求項 6 ないし 9 のいずれかに記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信に用いられ、複屈折率が比較的小さい光ファイバの偏波モード分散の測定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

光通信システムに用いられる光ファイバにおいては、コアの偏心や非円性、外部応力などにより、偏波モード分散（PMD）が生じることがある。偏波モード分散とは、光ファイバを伝搬する光の直交する2つの偏波モード間の群遅延差である。光ファイバの偏波モード分散が大きいと、この群遅延差によりパルス幅が広がるため、伝送速度の高速化を妨げる要因の一つになる。このため、光通信システムの設計や構築に際し、光ファイバの偏波モード分散がどのようなになっているのか、測定する必要がある。従来、光ファイバの偏波モード分散の測定方法としては、干渉法やジョーンズマトリクス法等が知られている。

【0003】

しかしながら、従来の測定方法では、光ファイバの全長で累積された偏波モード分散しか測定することができない。このため、例えば、既設線路の高速化のため、偏波モード分散が大きい不良区間を除去しようとしても、その不良区間の特定が難しく、長い区間の光ファイバの張替えを行うか、短い区間で偏波モード分散の測定を繰り返して不良区間を特定する必要があり、不都合であった。

また、光ファイバから光通信ケーブルを製造するに際しても、予め、光ファイバの偏波モード分散の小さい区間を選別することができず、光ファイバをケーブル化したのち、それぞれのケーブルについて偏波モード分散を測定して検査する必要がある。このため、検査の手間が掛かるとともに、検査によって不良と判定された光通信ケーブルについては、ケーブル化に要したコストが無駄になる。

さらに、偏波モード分散の測定の際、被測定光ファイバの一端に投光部を、他端に受光部を設ける必要があるが、既設線路の所定の区間を対象とする場合などでは、投光部と受光部との距離が極めて遠くなるため、測定系の同期を取ることが難しいという不都合がある。

これらの問題に対して、レーリー散乱光を利用して偏波モード分散の長手方向の分布を測定する方法が提案されている（例えば、非特許文献1、非特許文献2

、特許文献1など参照)。

【0004】

【非特許文献1】

B. ハットナーら、ジャーナル・オブ・ライドウェーブ・テクノロジー誌、第17巻、第10号、p. 1843-1848

【非特許文献2】

富岡ら、2002年電子情報通信学会総合大会、B-10-113

【特許文献1】

特開平2000-329651号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、これらの方法は、波長可変光源、偏波コントローラ、偏波アナライザ、位相検出器等の非常に高価な装置を必要とするため、実用とするにはコストが高い。また、複数の偏光状態について測定を行うためには、測定時間が長くなったり、複数の光検出器を必要とするなどし、さらなるコスト増になる。

【0006】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、簡単な装置で容易に光ファイバの長手方向に亘る偏波モード分散の分布を得ることができる光ファイバの偏波モード分散の測定方法を提供することを課題とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するため、本発明は、パルス光発生手段と、該パルス光発生手段により発生されたパルス光を被測定光ファイバの一端に入射させるとともに、該被測定光ファイバの一端に戻ってきた後方散乱光を出射する光周回手段と、該光周回手段から出射された後方散乱光の光強度をパルス光発生からの時系列として検出する光検出手段と、該光検出手段の出力に基づいて、光ファイバの偏波モード分散を解析する解析手段と、被測定光ファイバへの入力光と被測定光ファイバからの出力光とを同方向の単一直線偏波とする少なくとも1個の偏光分離手段とを具備する測定装置を用いる偏波モード分散の測定方法を提供する。

前記偏光分離手段は、前記光周回手段と被測定光ファイバとの間に1個設けることが好ましく、また、偏波合分波型カップラを用いることが好ましい。

【0008】

また、本発明は、汎用OTDR装置と、被測定光ファイバへの入力光と被測定光ファイバからの出力光とを同方向の単一直線偏波とする偏光分離手段とを具備する測定装置を用いる偏波モード分散の測定方法を提供する。

このような測定方法においては、さらに、前記汎用OTDR装置と前記偏光分離手段との間に、光増幅手段を備えることが好ましい。

【0009】

このような測定方法により、単一直線偏波としたパルス光を被測定光ファイバに入力し、この入力パルス光による後方散乱光から、前記入力パルス光と同方向の単一直線偏波を分離したのち、その光強度をパルス光発生からの時系列データとして検出し、この時系列データにおける光強度のばらつきを算出し、この算出値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価することができる。

【0010】

被測定光ファイバの偏波モード分散を評価するには、まず、被測定光ファイバの一端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第1の光強度のばらつきを算出し、次いで、前記被測定光ファイバの他端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第2の光強度のばらつきを算出し、これら第1の光強度のばらつきと第2の光強度のばらつきとの平均値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価することが好ましい。

また、該被測定光ファイバの所定の区間について測定された前記光強度のばらつきを、偏波モード分散が既知の光ファイバについて同様の方法により測定された光強度のばらつきと比較することにより、前記被測定光ファイバの所定の区間の偏波モード分散を評価することが好ましい。

前記光強度のばらつきは、最小二乗法による回帰残差のばらつきとして算出することが好ましい。ばらつきの尺度としては、標準偏差や、最大値と最小値との

差を用いることが好ましい。

【0011】

【発明の実施の形態】

以下、実施の形態に基づいて、本発明を詳しく説明する。

図1に、本発明の偏波モード分散の測定方法に用いられる測定装置の第1例を示す。この測定装置1は、タイミング制御手段10と、パルス光発生手段11と、第1および第2の偏光分離手段12a、12bと、光周回手段13と、光検出手段14と、解析手段15とを備えている。

【0012】

タイミング制御手段10は、パルス光の出力タイミングに対応したタイミング信号を、パルス光発生手段11、光検出手段14、解析手段15にそれぞれ出力する。タイミング信号は所定の時間幅を有するパルス状の信号である。

パルス光発生手段11は、数kHzの波長の連続光を出射するもので、タイミング制御手段10から入力されたタイミング信号をトリガとして所定の波長の光パルスを出射する。このタイミング信号の信号幅を制御することによって光パルスの幅を適当に制御することができる。パルス光発生手段11としては、例えば、外部共振器付き半導体レーザ、半導体レーザ励起固体レーザ等が好適に用いられる。

【0013】

第1および第2の偏光分離手段12a、12bは、それぞれ入力パルス光および後方散乱光から特定の方向の単一直線偏光を分離するものであり、これらの偏光分離手段12a、12bが分離する単一直線偏波の方向は、同じ方向に調整されている。これらの偏光分離手段12a、12bとしては、バルク型偏光子などを用いることもできるが、偏波合分波型カップラは、低損失であり、高い信頼性を備えるので、ダイナミックレンジや長期信頼性の点から好ましい。偏光分離手段12a、12bとして使用できる偏波合分波型カップラとしては、例えば、特開2001-51150号公報に記載のものを用いることができる。

【0014】

光周回手段13は、パルス光発生手段11から入射された光を被測定光ファイ

バ2に入射させるとともに、被測定光ファイバ2からの後方散乱光を光検出手段14に出射する光部品である。この光周回手段13としては、サーキュレータ、ビームスプリッタ、方向性結合器などが好適に用いられる。

【0015】

光検出手段14は、タイミング制御手段10から送られた制御信号に基づいて、パルス光の発生時点を知り、パルス光発生時点からの時系列として、第2の偏光分離手段12bにより偏光化された後方散乱光の光強度を時間領域で測定する。これには、A/D変換器などの光検出器を用いることができる。

【0016】

解析手段15は、光検出手段14により検出された時系列データにおける光強度のばらつきに基づいて、後述の方法により、被測定光ファイバ2の長手方向に亘る偏波モード分散の分布を解析する装置である。これには、被測定光ファイバ2における距離と光強度との関係で表された時系列データを統計的に解析することができるような計算装置を用いることができる。

【0017】

次に、上述の測定装置1を用いた光ファイバの偏波モード分散の測定方法の第1の実施の形態を説明する。

まず、パルス光発生手段11と第1の偏光分離手段12aを用いて、単一直線偏波としたパルス光を発生させ、これを光周回手段13を介して被測定光ファイバ2に入力する。被測定光ファイバ2に入力された入力パルス光は、被測定光ファイバ2を伝播する間に、レイリー散乱により後方に散乱され、測定装置1に戻ってくる。この後方散乱光から、第2の偏光分離手段12bを用いて、入力パルス光と同方向の単一直線偏波を分離したのち、光検出手段14により、光強度をパルス光発生からの時系列データとして検出する。

【0018】

このようにして得られた光強度の時系列データは、例えば図2に示すように、横軸はパルス光発生からの時間、縦軸は光強度として測定される。パルス光発生からの時間は、測定装置1と被測定光ファイバ2における後方散乱光の発生箇所との間を光が往復するのに要する時間であり、これは、測定装置1と後方散乱光

の発生箇所との間の距離に対応する。このような時系列データにおいて、後方散乱光の光強度には、ばらつきが生じている。

【0019】

本発明者が鋭意検討した結果、入力パルス光を単一直線偏波とし、後方散乱光の光強度を、入力パルス光と同方向の単一直線偏波成分として検出した場合、光ファイバの偏波モード分散と、後方散乱光の光強度のばらつきには、単調な関係があり、偏波モード分散が大きいほど、光強度のばらつきが小さくなり、偏波モード分散が小さいほど、光強度のばらつきが大きくなる傾向を有していることが分かった。

【0020】

この理由としては、以下のような理由が考えられる。

被測定光ファイバ2を伝搬するパルス光は、偏波モード分散により偏波状態が変化するが、偏波モード分散が大きいほど、より短い距離で変化する。

一方、測定装置1の空間分解能は、パルス光発生手段11より発生するパルス光の被測定光ファイバ2中での長さと、光検出手段14の時間分解能から決定される。

偏波モード分散が大きい場合には、被測定光ファイバ2中を伝搬するパルス光の偏波状態は、測定装置1の空間分解能よりも十分に短い距離で変化するために、後方散乱光の、入力パルス光と同方向の直線偏波成分は平均化され、光強度のばらつきが小さくなる。

一方、偏波モード分散が小さい場合には、パルス光の偏波状態の変化は、測定装置1の空間分解能と同程度、もしくは空間分解能よりも長い距離で変化するために、後方散乱光の、入力パルス光と同方向の直線偏波成分は平均化されることがなく、光強度のばらつきは大きくなる。

従って、光強度のばらつきに基づいて、光ファイバの偏波モード分散を評価することができる。

【0021】

次に、得られた時系列データにおける光強度のばらつきから光ファイバの所定の区間の偏波モード分散を評価する方法の1例について説明する。

光強度のばらつきを指標化するためには、まず、ばらつきの中心となる代表値を算出する必要がある。この代表値としては、例えば、当該区間内の光強度の平均値を用いることもできる。しかし、一般に、後方散乱光の光強度は入力パルス光の減衰により、距離が遠くなるにつれてほぼ一定の割合で減衰する。このため、距離と光強度の関係について被測定光ファイバ2の全長に亘り、最小二乗法により線形回帰を行い、この回帰推定量を前記代表値とし、光強度の測定値から最小二乗推定量を差し引いて得られる回帰残差に基づいて、光強度のばらつきを算出することが好ましい。これにより、距離による光強度の減衰の影響を相殺することができる。例として、図2の光強度の分布から、回帰残差の分布を算出した結果を図3に示す。このように、光強度を回帰残差に変換することにより、そのばらつきは、0を中心としたものになる。

【0022】

光強度の回帰残差のばらつきは、統計学的に一般的に用いられている適切な尺度として指標化することができる。このような尺度としては、標準偏差、最大値と最小値との差（レンジ）、平均偏差、平均差等が挙げられるが、中でも、標準偏差は不偏であり、レンジは算出が容易であるので好ましい。

【0023】

偏波モード分散の分布を求めるための区間の長さは、被測定光ファイバ2のビート長に合わせて決定することが好ましい。なお、ビート長とは、互いに直交するX偏波およびY偏波の位相差が光ファイバ中を伝播する間に 2π 増加する長さをいう。通常のシングルモード光ファイバでは、ビート長は数～数十mであるので、区間の長さをビート長の2～10倍とすることが好ましく、100m程度が適当である。これにより、偏波の位相差による測定値の偏りが十分に平均化され、有意義な値を得ることができる。

例として、図3に示す光強度の回帰残差の分布から、100m間隔で光強度のばらつきを算出した結果を、図4に示す。この図から分かるように、ビート長より十分長い区間長をとることにより、著しい振動や変動を平均化し、実際の偏波モード分散の分布に即したグラフを得ることができる。

【0024】

上述のような手順により、各区間において、光強度の回帰残差のばらつきの尺度を求めれば、これは、当該区間の偏波モード分散と高い相関を示す。そこで、ジョーンズマトリクス等の公知の方法により偏波モード分散が測定されている光ファイバを標準として、この標準光ファイバについて、光強度の回帰残差のばらつきの尺度を測定することにより、偏波モード分散と光強度の回帰残差のばらつきとの関係を求めることができる。そして、標準光ファイバの光強度の回帰残差のばらつきと、被測定光ファイバ2の光強度の回帰残差のばらつきとを比較することにより、被測定光ファイバ2の所望の区間の偏波モード分散を評価することができる。

標準光ファイバとしては、被測定光ファイバ2と材料や光学特性などが同種類であるものを用いることが好ましい。さらに、光強度の回帰残差のばらつきが、長手方向の全長に亘ってほぼ一様であるものを選択することが好ましい。

【0025】

次に、本発明の偏波モード分散の測定方法に用いられる測定装置の他の例について説明する。

図5に示す測定装置の第2例は、偏光分離手段12を光周回手段13と被測定光ファイバ2の間に配置することにより、入力パルス光と後方散乱光のいずれにも適用されるようにしたものである。他の構成は、図1に示す測定装置1の第1例と同様の構成とすることができる。この測定装置1によれば、必要な偏光分離手段12の個数を1個にすることができるので、測定装置1をより低価格にすることができる。しかも、図1に示す測定装置1では、第1の偏光分離手段12aと第2の偏光分離手段12bの方向を調整して、入力パルス光の偏波方向と後方散乱光の偏波方向を一致させる必要があったが、本実施の形態の測定装置1によれば、このような調整をする必要がない。

【0026】

図6に示す測定装置1の第3例は、汎用のOTDR装置3と偏光分離手段12とを備える装置である。偏光分離手段12は、OTDR装置3と被測定光ファイバ2との間に配置されている。OTDR装置3には、タイミング制御手段10、パルス光発生手段11、光周回手段13、光検出手段14、解析手段15が含ま

れていることにより、図1に示す測定装置1と同様の測定を実施することができる。これにより、偏波モード分散を測定するときに汎用OTDR装置3と偏光分離手段12を組み合わせ、不要なときには偏光分離手段12を取り外し、通常の汎用OTDR装置3として使用することができるので、偏波モード分散の測定を一層簡便に行うことができる。

【0027】

図7に示す測定装置1の第4例は、図3に示す測定装置1のOTDR装置3と偏光分離手段12との間に、入力パルス光を増幅するための光増幅手段30を付け加えて配置したものである。この光増幅手段30は、光アンプ31と、2個のサーキュレータ32と、迂回用伝送路33からなる。サーキュレータ32の周回方向は、入力パルス光が光アンプ31側を伝播し、後方散乱光が迂回用伝送路33を伝播するようなものとされている。これにより、入力パルス光のみが増幅され、後方散乱光は偏光分離手段12により単一直線偏波成分を分離されたあと、そのままOTDR装置3に入射するので、より長距離の測定が可能になる。しかも、各部品は特殊なものではなく、すべて汎用品を使用できるので、コストが低減される。

【0028】

次に、本発明の偏波モード分散の測定方法の第2の実施の形態について説明する。

この測定方法においては、被測定光ファイバ2の両端を、例えば、それぞれa端、b端と呼んで区別するものとして、まず、測定装置1を被測定光ファイバ2のa端に接続し、上述した測定方法の第1例と同様の手法を用いて、前記a端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第1の光強度のばらつきを算出する。

次いで、測定装置1を被測定光ファイバ2のb端に接続し、同様にして、前記b端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第2の光強度のばらつきを算出する。

そして、a端側から測定された第1の光強度のばらつきと、b端側から測定された第2の光強度のばらつきとを、被測定光ファイバ2の長手方向の位置を揃え

て平均し、この平均値に基づいて、上述した測定方法の第1例と同様の手法を用いることにより、被測定光ファイバ2の偏波モード分散を評価することができる。

【0029】

このように、被測定光ファイバ2の各端から、それぞれ1回ずつ測定することが好ましい場合としては、例えば、被測定光ファイバ2が長尺である場合が挙げられる。この場合、測定装置1側の一端（入射端）から入力されたパルス光は、被測定光ファイバ2を長距離に亘って伝搬することにより、デポラライズされるため、該パルス光のコヒーレンシーが低下し、図8に模式的に示すように、測定装置1に戻ってきた光強度のばらつきが、実際の被測定光ファイバ2の偏波モード分散を反映した大きさよりも小さくなることがある。つまり、例えば、被測定光ファイバ2の偏波モード分散が長手方向全長に亘ってほぼ一定である場合、入射端からの累積偏波モード分散は、入射端からの距離によって決まり、図8に示すように、入射端から離れるほど累積偏波モード分散の影響をより強く受けて、光強度のばらつきが小さくなる。すると、入射端からの距離が遠い位置では、見掛けの偏波モード分散が、実際の偏波モード分散よりも悪いものとして観測されることになる。

このような見掛けの偏波モード分散の増大は、被測定点と測定装置1との距離が長いほど顕著であり、例えば被測定光ファイバ2の長さが15 km以上である場合には、この影響が無視できない。

このため、光強度のばらつきをa端からの測定値とb端からの測定値とで平均することにより、図8に破線で示すように、パルス光のコヒーレンシーの低下による見掛け上の偏波モード分散の劣化の影響を低減させ、より正確な値を得ることができる。

【0030】

また、パルス光のコヒーレンシーの低下は、被測定点と測定装置1との間の累積PMDによっても影響を受ける。例えば、被測定光ファイバ2の途中に偏波モード分散が著しく悪い区間があった場合、その区間より遠い位置の偏波モード分散は、その位置からの後方散乱光が前記偏波モード分散が著しく悪い区間を通過

せざるを得ない。つまり、被測定点と測定装置 1 との間に偏波モード分散が著しく悪い区間があると、見掛け上、実際の値より悪く観測されがちである。

【0031】

この問題について、図 9 に示す模式図を参照しながら説明する。例えば、被測定光ファイバ 2 の一部に偏波モード分散が著しく悪い区間が二箇所、 $p q$ および $s t$ があるものとする（点 p 、点 q 、点 s 、点 t の順序は、この順で a 端から b 端に向かうものとする）。

a 端からパルス光を入力して測定した前記光強度のばらつきの波形 $A P Q S T B$ において、区間 $p q$ の影響によりライン $A P$ とライン $Q S$ との間に段差 Δ_1 が生じ、区間 $s t$ の影響によりライン $Q S$ とライン $T B$ との間に段差 Δ_2 が生じるので、光強度のばらつきは、区間 $q s$ において Δ_1 だけ、また、区間 $t b$ において $\Delta_1 + \Delta_2$ だけ余計に低下する。このため、一端側からの測定だけでは、測定装置から遠い側の区間における偏波モード分散が、見掛け上、実際の偏波モード分散より悪く観測されることになる。

【0032】

そこで、同様にして、測定装置 1 を b 端側に接続し、この b 端からパルスを入力して光強度のばらつきを測定すると、前記光強度のばらつきの波形 $A' P' Q' S' T' B'$ において、区間 $s t$ の影響によりライン $T' B'$ とライン $Q' S'$ との間に段差 Δ_2 が生じ、区間 $p q$ の影響によりライン $Q' S'$ とライン $A' P'$ との間に段差 Δ_1 が生じるので、光強度のばらつきは、区間 $q s$ において Δ_2 だけ、また、区間 $a p$ において $\Delta_1 + \Delta_2$ だけ余計に低下する。

従って、 a 端からの測定値と b 端からの測定値とを平均すれば、区間 $a p$ 、区間 $q s$ 、区間 $t b$ の間に、段差 Δ_1 および段差 Δ_2 の影響が均等に生じ、その影響を相殺することができるので、被測定光ファイバ 2 の中で、実際に偏波モード分散が悪い区間を、確実に特定することができる。

【0033】

次に、本発明を実施例に基づいてより詳しく説明する。

偏波モード分散が長手方向の全長に亘ってほぼ一様であり、ジョーンズマトリクス法により $0.04 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 、 $0.09 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 、 $0.12 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$

kmの標準となるシングルモード光ファイバについて、単一直線偏波としたパルス光を入力し、それによる後方散乱光の入力パルス光と同方向の単一直線偏波成分の強度を測定したものをそれぞれ、図10(a)～(c)に示す。これらの結果に示されているように、偏波モード分散が大きいほど、光強度の変動幅が小さくなっている。

【0034】

図11に、ジョーンズマトリクス法により求められた偏波モード分散の測定結果と、本測定方法により測定された光強度のばらつきとの関係を示す。横軸はジョーンズマトリクス法にて測定された偏波モード分散であり、縦軸は、本発明の測定方法を用いて測定された光強度の回帰残差の標準偏差である。ジョーンズマトリクス法と本発明の測定方法とのいずれにおいても、それぞれの標準光ファイバについて、測定を時間をおいて5回繰り返し、その平均値をとっている。

図1.1に示すように、偏波モード分散と光強度のばらつきとの間に、非常によい相関が得られている。これにより、本発明の測定方法により、光ファイバの偏波モード分散を評価することが可能であることが分かる。

【0035】

次に、上記図5の装置を用いて光強度の時系列測定を行った。ここで用いた被測定光ファイバ2は、ジョーンズマトリクス法により偏波モード分散が既知のシングルモード光ファイバを1.2kmずつ、18本用意し、これらを順に接続したものである。

図12に、上記被測定光ファイバ2についての光強度の時系列データを示す。図12(a)は全体を、図12(b)は測定装置に近い側の4本分を示している。このように、被測定光ファイバ2の長手方向に偏波モード分散の変化が存在している場合、それに対応して光強度のばらつきが変化していることが分かる。

【0036】

上記被測定光ファイバ2の各区間について測定された。図13に、光強度のばらつきと、ジョーンズマトリクス法によって測定された偏波モード分散との関係の一例を示す。

図13中、■は、上記被測定光ファイバ2に対する結果であり、◆は、図9に

示す標準光ファイバに対する結果である。図 13 に示す結果から明らかなように、長手方向に 18 本の光ファイバを接続し、総延長を約 21.6 km とした場合でも、偏波モード分散と光強度のばらつきとの相関関係は図 9 の結果と同様の傾向を示し、偏波モード分散が $0.10 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ を超える区間と、下回る区間とを、明瞭に識別することができた。

【0037】

すなわち、複屈折率が比較的小さく、偏波モード分散が $0.01 \sim 0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 程度となる光ファイバについて、長手方向の偏波モード分散の分布を十分実用的な程度に測定し、偏波モード分散が比較的大きい不良区間と比較的小さい優良区間とを一回の測定にて区別することができた。

なお、偏波モード分散と光強度のばらつきとの相関にずれが見られるのは、被測定光ファイバ 2 についてのジョーンズマトリクス法の測定を、各区間 1 回ずつのみ行ったためであり、ジョーンズマトリクス法の誤差の影響（標準偏差は約 $0.01 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ ）を受けているためである。

【0038】

さらに、図 7 に示すように光増幅手段 30 を用いて被測定光ファイバ 2 に入出力されるパルス光および後方散乱光を増幅して測定したところ、測定可能距離を約 30 km とし、光増幅手段 30 を用いない場合に比べて、1.5 倍に延長することができた。また、本発明による偏波モード分散の測定値は、測定ジョーンズマトリクス法により測定した偏波モード分散の測定値とほぼ一致した。

【0039】

次に、本発明の偏波モード分散の測定方法の第 2 の実施の形態に関する実施例を説明する。

被測定光ファイバは、長さが約 35 km であり、ジョーンズマトリクス法により、偏波モード分散が既知である。また、測定装置としては、図 6 に示す測定装置を用いた。被測定光ファイバの長手方向のそれぞれの位置における光強度のばらつきは、100 m ごとに区間を分け、各区間の範囲での光強度の回帰残差の標準偏差として求めた。

【0040】

図14に、被測定光ファイバ2の一端（a端と呼ぶことにする）からの光強度のばらつきを太い実線で、他端（b端と呼ぶことにする）からの光強度のばらつきを太い一点鎖線で示す。また、a端からの測定値とb端からの測定値を平均した値を太い破線で示す。

図14中、直線Jは、被測定光ファイバ2の全長に対して、ジョーンズマトリックス法で測定されたPMDの平均値から推定される光強度のばらつきのレベルを示し、また、直線Hは、本発明の手法を用いて測定された光強度のばらつきの平均のレベルを示している。

【0041】

この結果からわかるように、光強度のばらつきは、比較的一致したパターンを示して上下しているものの、測定装置1の側から見て、PMDの悪い区間（例えば、図14中のX₁、X₂）より遠いところでは、例えば、b端から測定した場合のY付近や、a端から測定した場合のZ付近のように、光強度のばらつきがかなり小さくなり、PMDが見掛け上、悪く観測される区間が現れていることが見て取れる。また、これらの区間Y、Z付近において、図14に太い破線で示される平均値においては、光強度のばらつきは、ジョーンズマトリックス法の測定に基づく推定値にかなり近くなっていることから、被測定光ファイバの両端のそれぞれからの測定値を平均することにより、前記PMDの悪い区間の影響を避けることができることが分かる。

【0042】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の光ファイバの偏波モード分散の測定装置および測定方法によれば、波長可変光源、偏波コントローラ、偏波アナライザ、位相検出器も必要とせず、簡便な装置を用いて、実用的な精度にて、光ファイバの偏波モード分散の長手方向の分布を測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 偏波モード分散の測定装置の第1例を示す概略構成図である。

【図2】 被測定光ファイバにおける長手方向の距離と、後方散乱光の光強

度との関係の一例を示すグラフである。

【図 3】 被測定光ファイバにおける長手方向の距離と、後方散乱光の光強度の回帰残差との関係の一例を示すグラフである。

【図 4】 被測定光ファイバにおける長手方向の距離と、後方散乱光の光強度の回帰残差の所定間隔毎の標準偏差との関係の一例を示すグラフである。

【図 5】 偏波モード分散の測定装置の第 2 例を示す概略構成図である。

【図 6】 偏波モード分散の測定装置の第 3 例を示す概略構成図である。

【図 7】 偏波モード分散の測定装置の第 4 例を示す概略構成図である。

【図 8】 本発明の偏波モード分散の測定方法の第 2 例を模式的に説明するグラフである。

【図 9】 本発明の偏波モード分散の測定方法の第 2 例を模式的に説明するグラフである。

【図 10】 偏波モード分散が既知である標準光ファイバの後方散乱光の光強度の例を示すグラフである。

【図 11】 標準光ファイバにおける光強度のばらつきと偏波モード分散との関係の一例を示すグラフである。

【図 12】 被測定光ファイバにおける長手方向の距離と、後方散乱光の光強度の回帰残差との関係の一例を示すグラフである。

【図 13】 被測定光ファイバにおける光強度のばらつきと偏波モード分散との関係の一例を示すグラフである。

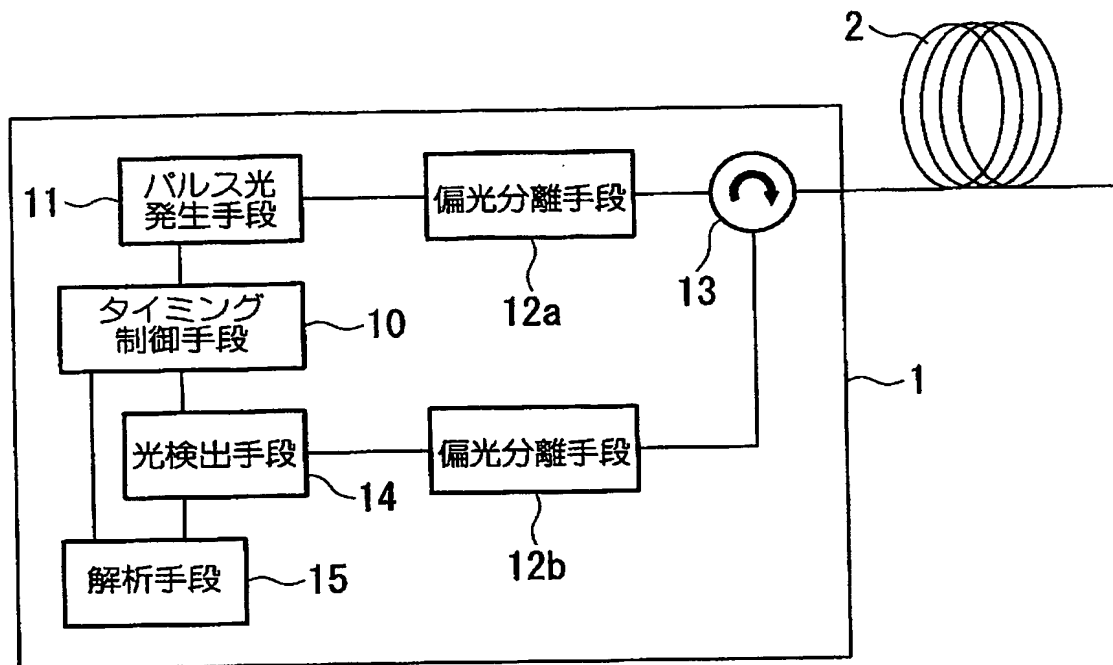
【図 14】 被測定光ファイバにおける光強度のばらつきの他の例を示すグラフである。

【符号の説明】

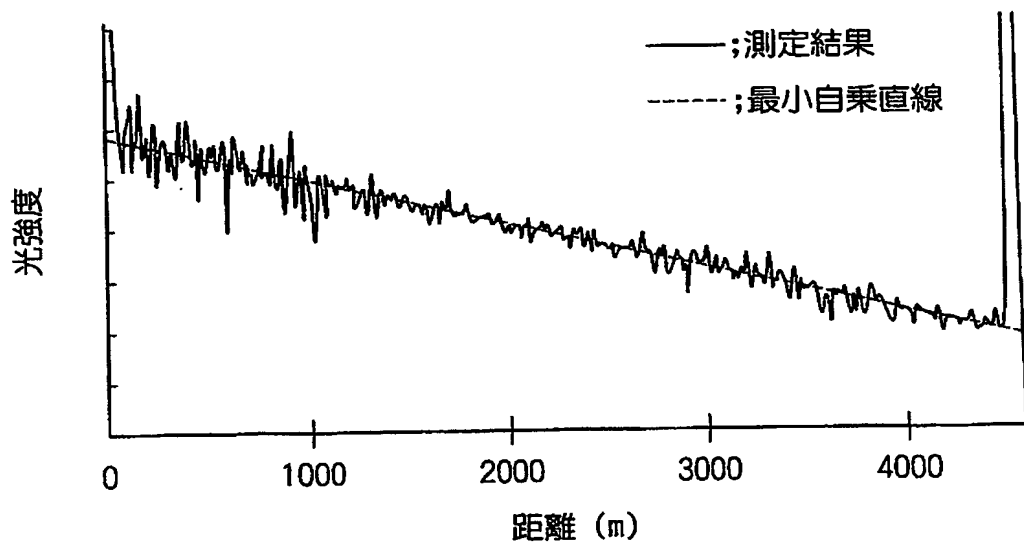
1…測定装置、2…被測定光ファイバ、3…OTDR装置、11…パルス光発生手段、12（12a、12b）…偏光分離手段、13…光周回手段、14…光検出手段、15…解析手段、30…光増幅手段。

【書類名】 図面

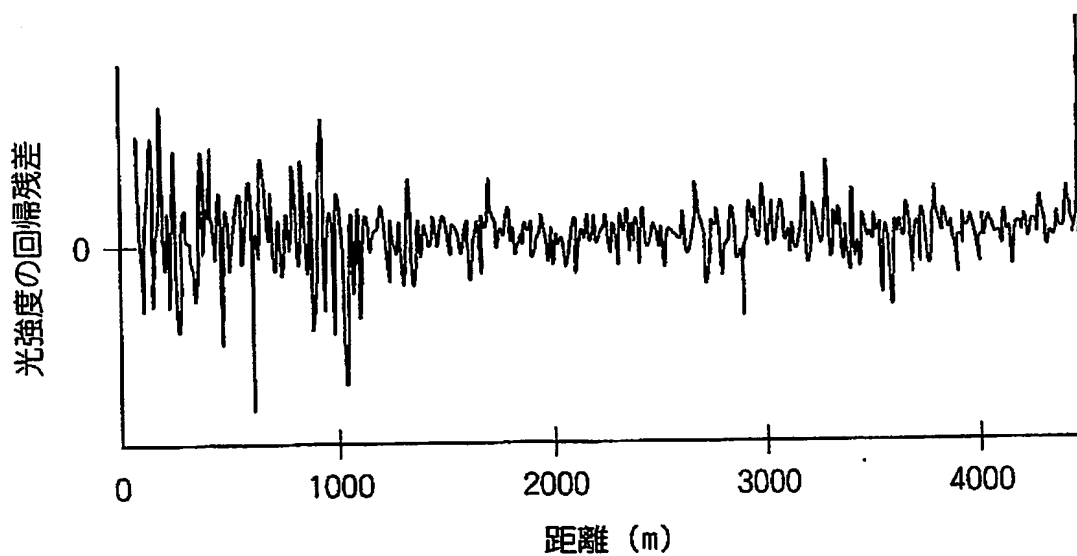
【図 1】



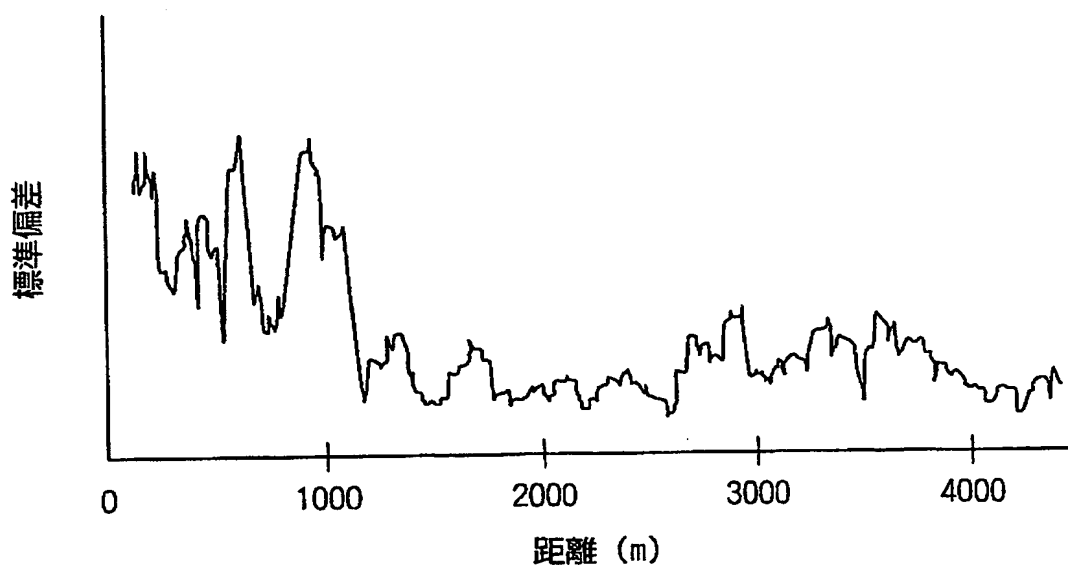
【図 2】



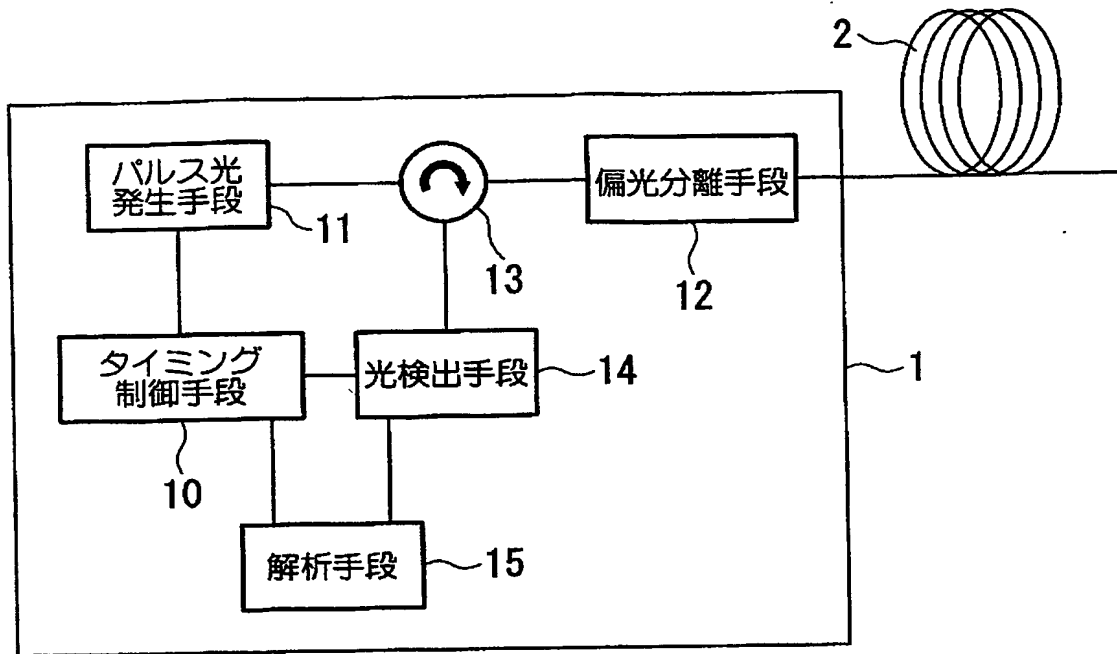
【図 3】



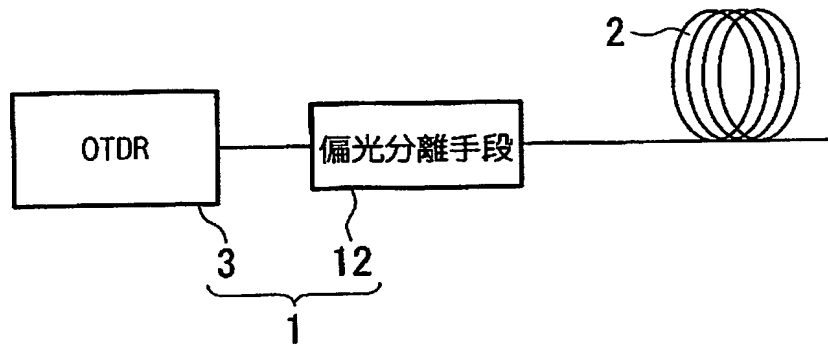
【図 4】



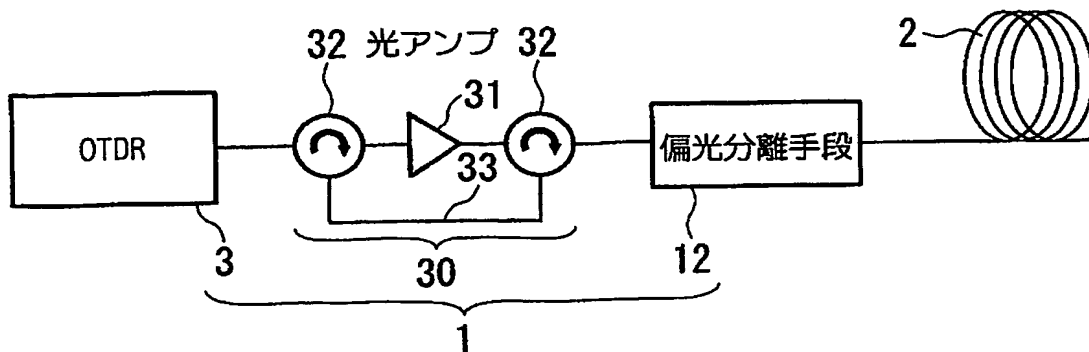
【図 5】



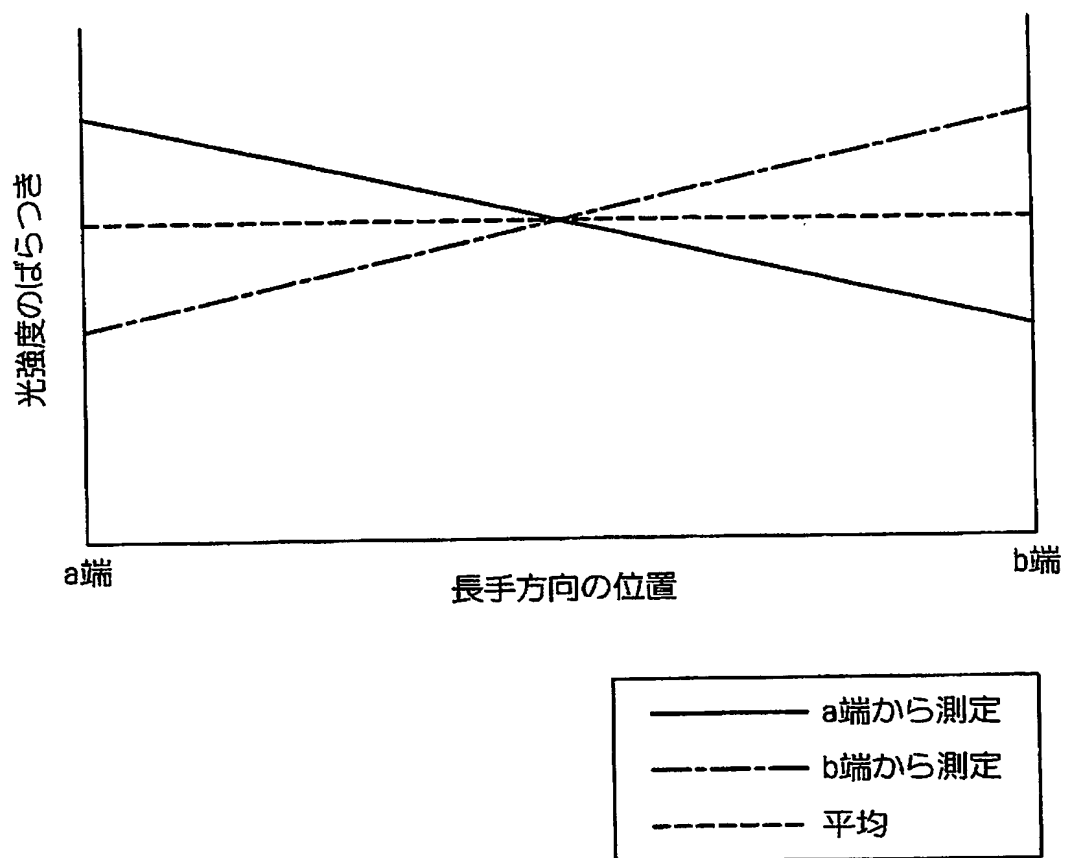
【図 6】



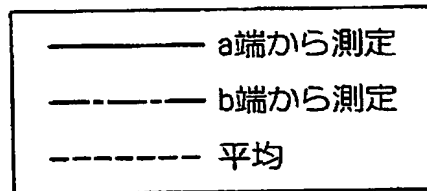
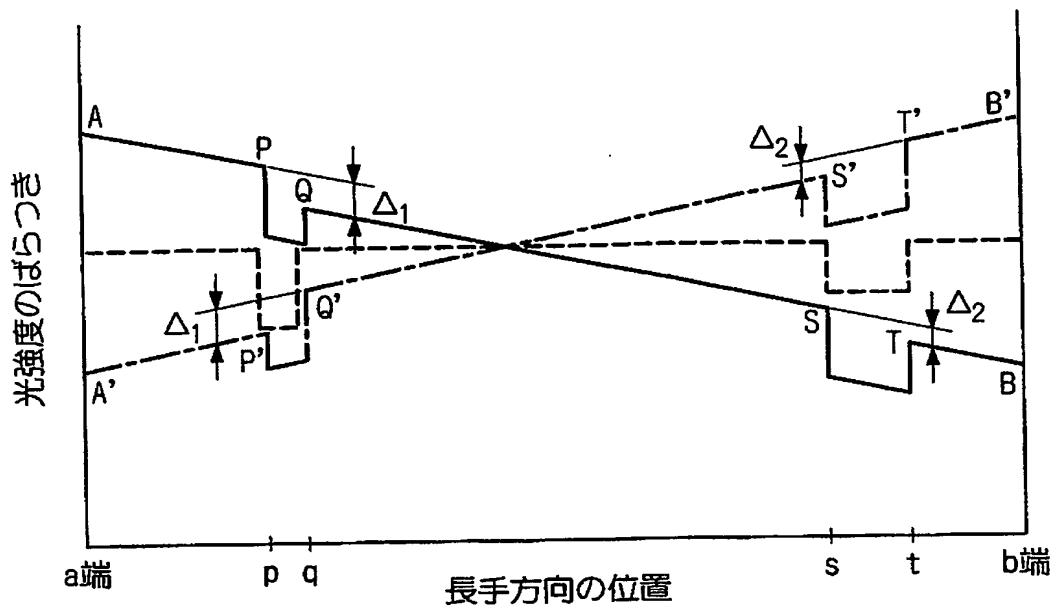
【図 7】



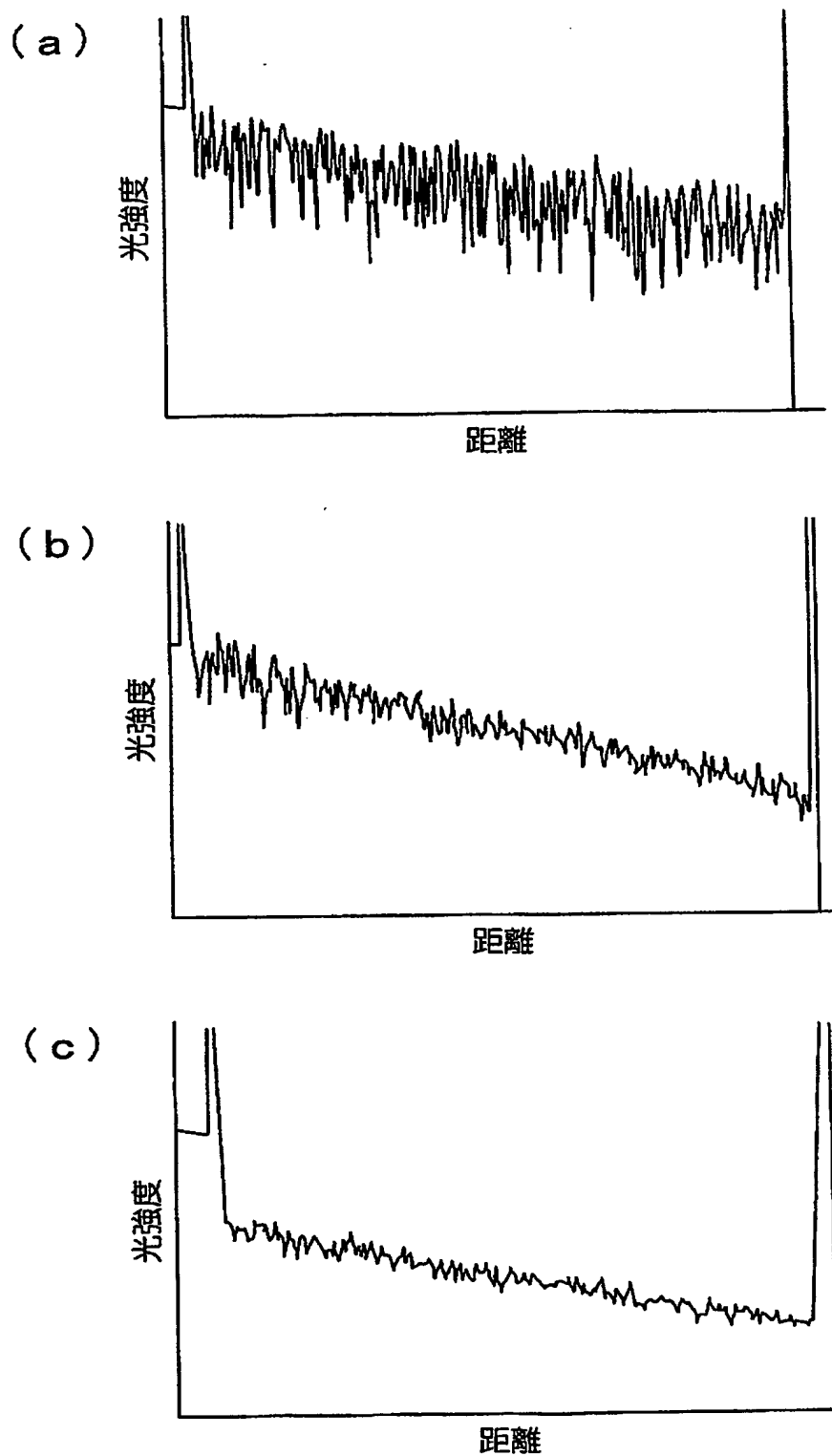
【図 8】



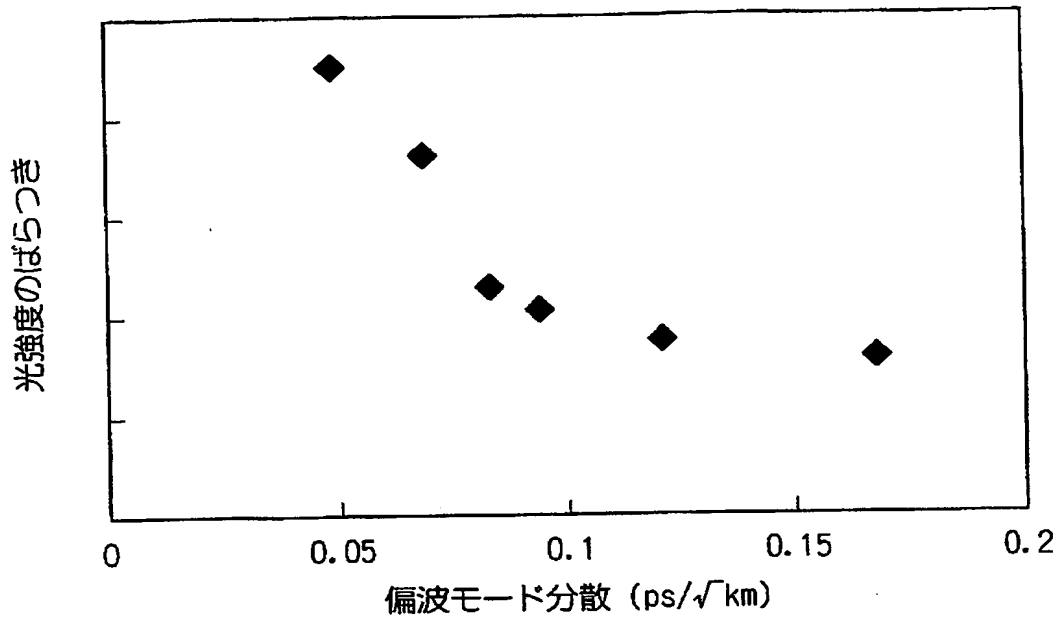
【図 9】



【図 10】

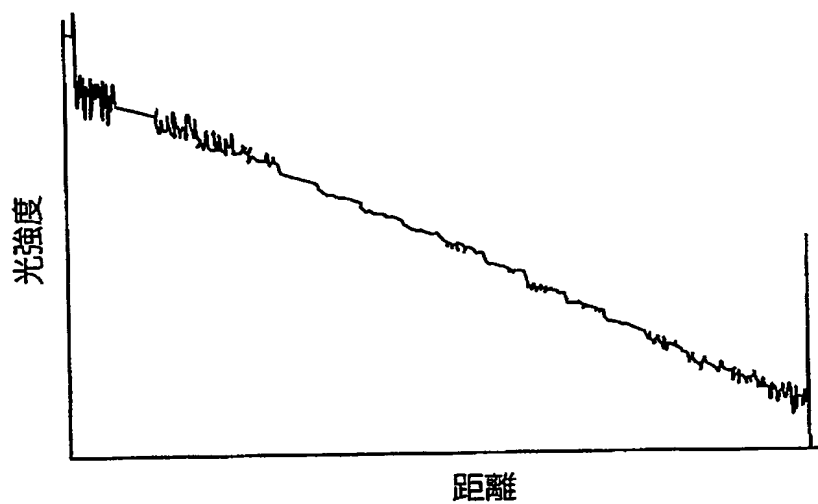


【図 11】

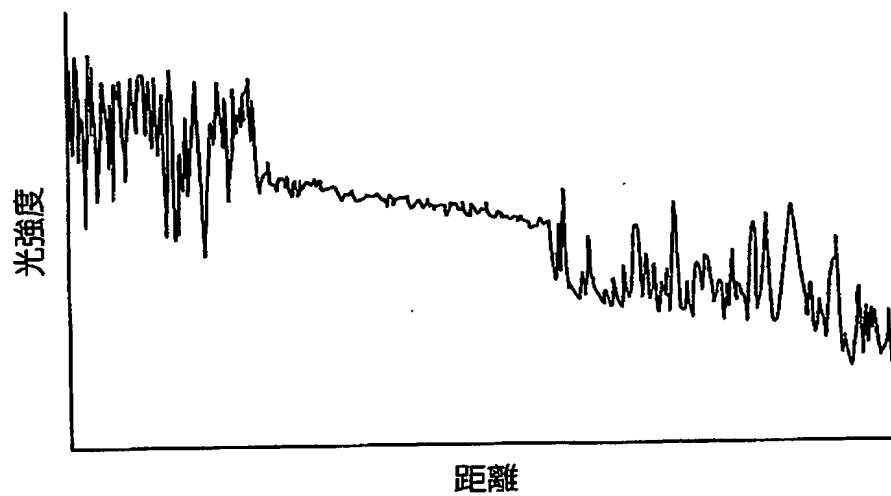


【図 12】

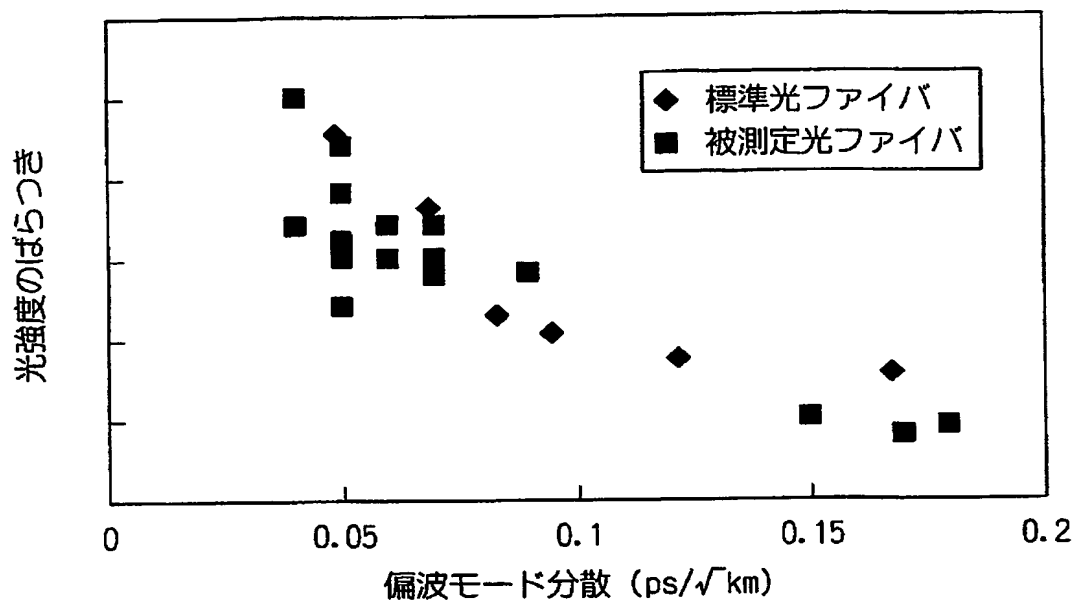
(a)



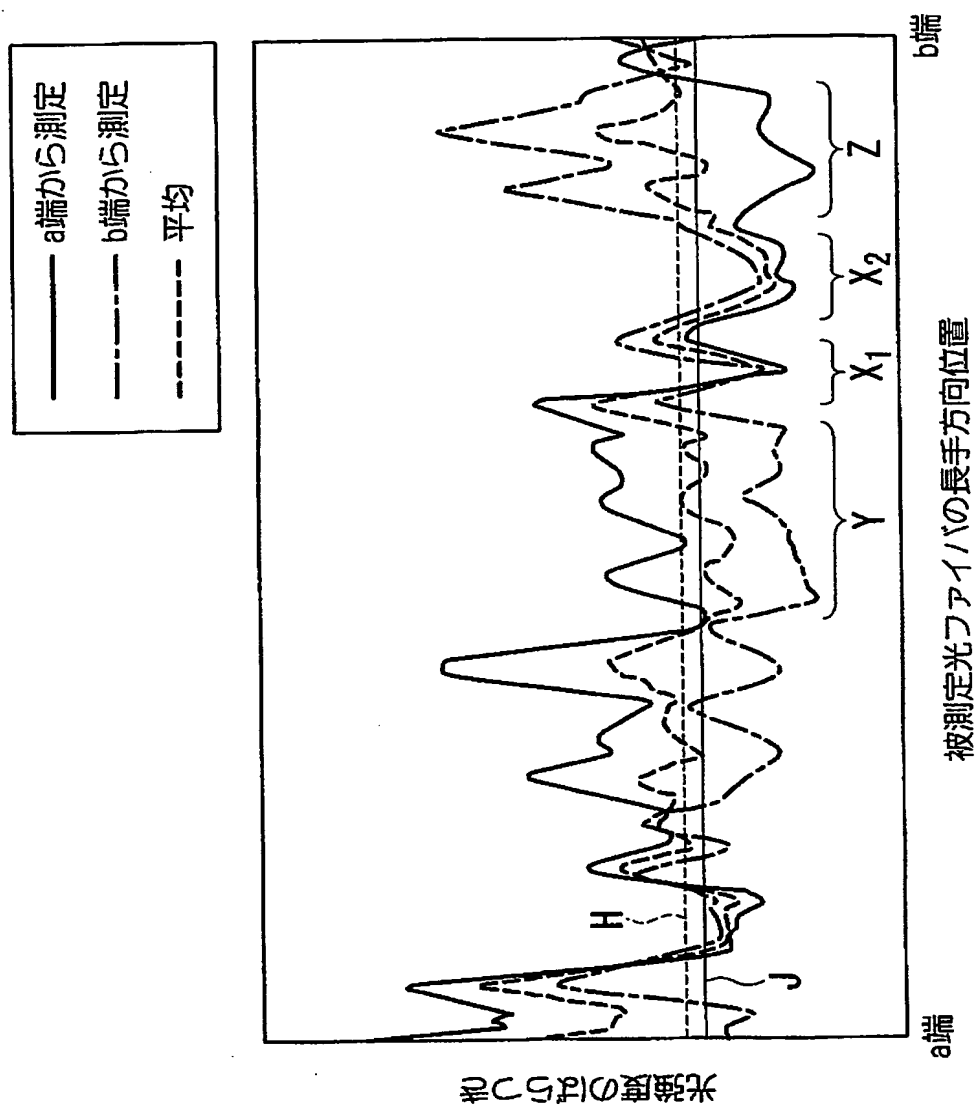
(b)



【図 13】



【図 14】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 簡単な装置で容易に光ファイバの長手方向に亘る偏波モード分散の分布を得ることができる測定装置および測定方法を提供する。

【解決手段】 パルス光発生手段 11 と、これにより発生されたパルス光を被測定光ファイバ 2 の一端に出射するとともに、該被測定光ファイバ 2 の一端に戻ってきた後方散乱光を出射する光周回手段 13 と、該光周回手段 13 から出射された後方散乱光の光強度をパルス光発生からの時系列として検出する光検出手段 14 と、該光検出手段 14 の出力に基づいて、光ファイバの偏波モード分散を解析する解析手段 15 と、被測定光ファイバ 2 への入力光と被測定光ファイバ 2 からの出力光とを同方向の単一直線偏波とする少なくとも 1 個の偏光分離手段 12a、12b とを具備する偏波モード分散の測定装置 1 を用い、後方散乱光の光強度のばらつきに基づいて、偏波モード分散を評価する。

【選択図】 図 1

特願 2002-261283

出願人履歴情報

識別番号

[000005186]

1. 変更年月日 1990年 8月16日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都江東区木場1丁目5番1号
氏 名 藤倉電線株式会社

2. 変更年月日 1992年10月 2日
[変更理由] 名称変更
住 所 東京都江東区木場1丁目5番1号
氏 名 株式会社フジクラ